

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 10 月 27 日 (27.10.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/101532 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 33/00, H01S 5/343
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/005475
- (22) 国際出願日: 2004 年 4 月 16 日 (16.04.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ナイトライド・セミコンダクター株式会社 (NITRIDE SEMICONDUCTORS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒7710360 徳島県鳴門市瀬戸町明神字板屋島 1 1 5 番地の 7 Tokushima (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐藤 壽朗 (SATO,

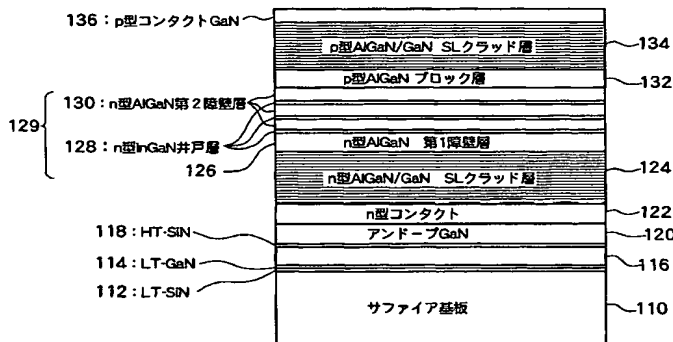
Hisao) [JP/JP]; 〒7710360 徳島県鳴門市瀬戸町明神字板屋島 1 1 5 番地の 7 ナイトライド・セミコンダクター株式会社内 Tokushima (JP). 和田 直樹 (WADA, Naoki) [JP/JP]; 〒7710360 徳島県鳴門市瀬戸町明神字板屋島 1 1 5 番地の 7 ナイトライド・セミコンダクター株式会社内 Tokushima (JP). 酒井 士郎 (SAKAI, Shiro) [JP/JP]; 〒7708072 徳島県徳島市八万町中津浦 174-4 Tokushima (JP). 木村 真大 (KIMURA, Masahiro) [JP/JP]; 〒7710360 徳島県鳴門市瀬戸町明神字板屋島 1 1 5 番地の 7 ナイトライド・セミコンダクター株式会社内 Tokushima (JP).

(74) 代理人: 吉田 研二, 外 (YOSHIDA, Kenji et al.); 〒1800004 東京都武蔵野市吉祥寺本町 1 丁目 3 4 番 1 2 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: GALLIUM NITRIDE BASED LIGHT-EMITTING DEVICE

(54) 発明の名称: 窒化ガリウム系発光装置



- 110... SAPPHIRE SUBSTRATE
120... UNDOPED GaN
122... n-TYPE CONTACT
124... n-TYPE AlGaIn/GaN SL CLADDING LAYER
126... n-TYPE AlGaIn FIRST BARRIER LAYER
128... n-TYPE InGaIn WELL LAYER
130... n-TYPE AlGaIn SECOND BARRIER LAYER
132... p-TYPE AlGaIn BLOCK LAYER
134... p-TYPE AlGaIn/GaN SL CLADDING LAYER
136... p-TYPE CONTACT GaN

(57) Abstract: A light-emitting device employing a GaN based semiconductor comprising an n-type cladding layer (124), an active layer (129) consisting of an n-type first barrier layer (126), a well layer (128) and a second barrier layer (130), a p-type block layer (132), and a p-type cladding layer (134). By setting the relation among the band gap energy E_{gb} of the p-type block layer (132), the band gap energy E_{g2} of the second barrier layer (130), the band gap energy E_{g1} of the first barrier layer (126) and the band gap energy E_{gc} of the n-type and p-type cladding layers (124, 134) to be $E_{gb} > E_{g2} > E_{g1} \geq E_{gc}$, carriers are confined efficiently, thereby increasing the emission intensity.

(57) 要約: GaN系半導体を用いた発光装置。発光装置は、n型クラッド層 (124)、n型第1障壁層 (126) と井戸層 (128) と第2障壁層 (130) からなる活性層 (129)、p型ブロック層 (132)、p型クラッド層 (134)

[続葉有]



WO 2005/101532 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

を有して構成される。p型ブロック層(132)のバンドギャップエネルギー E_{gb} 、第2障壁層(130)のバンドギャップエネルギー E_{g2} 、第1障壁層(126)のバンドギャップエネルギー E_{g1} 、n型及びp型クラッド層(124)、(134)のバンドギャップエネルギー E_{gc} において、 $E_{gb} > E_{g2} > E_{g1} \geq E_{gc}$ とすることでキャリアを効率的に閉じ込め発光強度が増大する。

明 細 書

窒化ガリウム系発光装置

技術分野

本発明は、窒化ガリウム系発光装置、特に380nm以下の短波長領域での発光を行う発光ダイオード(LED)や半導体レーザ(LD)等の発光装置に関する。

背景技術

従来より、窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体を用いたLEDやLD等の発光装置が知られている。380nm以下の波長領域での発光や発振は、活性層を構成するInを含むGaN系化合物半導体におけるIn組成比を変化させることでその発光波長が変化し、具体的にはIn組成比を小さくすることで波長が短くなる。

図9及び図10には、下記の特許文献に示す発光装置(半導体レーザ)の構成が示されている。図9において、(a)は発光装置の断面構成であり、(b)はこの断面構成におけるA1の組成比を示すものである。この発光装置は、基板21及びバッファ層22上に第1導電型層11、活性層12、第2導電型層13とが積層された構造を有している。

第1導電型層11はコンタクト層23、クラッド層25、第1光ガイド層26を有して構成され、活性層12は活性層27から構成され、第2導電型層13はキャリア閉じ込め層28、第2光ガイド層29、クラッド層30及びコンタクト層31を有して構成される。第1及び第2光ガイド層26、29とで活性層12(あるいは活性層27)を挟み込む構造で、第1及び第2光ガイド層とその間の活性層とで導光路を形成する。

図10には、活性層12(あるいは活性層27)近傍における層構造とそのバンドギャップが示されている。活性層12(27)は、複数の井戸層1a、1bと複数の障壁層2a、2b、2cとが交互に積層された構造を有し、さらに活性

層 2 7 内部もしくは活性層近傍にキャリア閉じ込め層 2 8 が形成される。キャリア閉じ込め層 2 8 は、第 1 導電型層からのキャリアを活性層もしくは井戸層内に閉じ込めるものである。第 1 導電型層を n 型、第 2 導電型層を p 型とした素子においては、キャリア閉じ込め層 2 8 が電子を活性層内に閉じ込める。p 層側にキャリア閉じ込め層 2 8 を設けるのは、窒化物半導体において電子の拡散長がホールの拡散長に比べて長いため、電子の方が活性層をオーバフローしやすいためとしている。

なお、n 層側にキャリアの閉じ込め層を設ける場合には、p 層側のキャリア閉じ込め層のように活性層・障壁層との間に大きなオフセットを設ける必要がなく、活性層内で最も n 側に配置された n 側障壁層 2 a でもってホール閉じ込め層として機能させることができると記載されており、n 側障壁層 2 a は他の障壁層に比べて膜厚を大きくすることでキャリア閉じ込めの機能を好適に引き出すことができると記載されている。

特許文献：特開 2 0 0 3 - 1 1 5 6 4 2 号公報

発明の開示

このように、活性層を障壁層と井戸層とで構成した多重量子井戸 (MQW) 構造とし、p 層側に電子を閉じ込めるキャリア閉じ込め層、及び n 層側にホールを閉じ込めるキャリア閉じ込め層を配置することでキャリア再結合を促すことが可能である。但し、G a N 系化合物半導体を用いた発光装置は近年ますますその用途が拡大しており、特に照明用光源として発光強度の一層の向上が望まれている。

本発明の目的は、紫外光を発光する G a N 系化合物半導体を用いた発光装置において、より大きな発光強度を有する発光装置を提供することにある。

本発明は、基板と、前記基板上に形成された第 1 導電型のクラッド層と、前記クラッド層上に形成された活性層と、前記活性層上に形成された第 2 導電型のクラッド層とを有し、前記活性層は、窒化ガリウム系化合物半導体層からなる障壁層及び井戸層を有する窒化ガリウム系発光装置であって、前記活性層の前記障壁層は、前記第 1 導電型のクラッド層側に形成された第 1 障壁層、及び前記井戸層に挟まれた第 2 障壁層を有し、前記活性層と前記第 2 導電型のクラッド層との間

に第2導電型のキャリアブロック層を有し、前記キャリアブロック層のバンドギャップ $E_g b$ 、第2障壁層のバンドギャップ $E_g 2$ 、第1障壁層のバンドギャップ $E_g 1$ 、クラッド層のバンドギャップ $E_g c$ は、 $E_g b > E_g 2 > E_g 1 \geq E_g c$ を満たすことを特徴とする。

本発明においては、キャリアブロック層により第1導電型層側からのキャリアをブロックするとともに、第1障壁層により第2導電型層からのキャリアをブロックする。各層のバンドギャップエネルギーの大小関係を上記のように設定することで、より効率的にキャリアを閉じ込め、活性層での再結合を促して発光強度を増大させる。例えば、第1導電型はn型、第2導電型はp型に設定することができ、第1障壁層はホール閉じ込め層として機能し、キャリアブロック層は電子閉じ込め層として機能する。

本発明によれば、キャリアを効率的に閉じ込め、発光強度を向上することができる。

図面の簡単な説明

図1は、実施形態にかかる発光装置の構成図である。

図2は、実施形態のバンドギャップの大きさの説明図である。

図3は、第2障壁層に対する第1障壁層のバンドギャップと発光強度との関係を示す図である。

図4は、クラッド層に対する第1障壁層のバンドギャップと発光強度との関係を示す説明図である。

図5は、第2障壁層に対するp型ブロック層のバンドギャップと発光強度との関係を示す図である。

図6は、第1障壁層の膜厚と発光強度との関係を示す図である。

図7は、井戸層の有無と発光強度との関係を示す図である。

図8は、井戸層の膜厚と発光強度との関係を示す図である。

図9は、従来装置の構成図であり、図9(a)は発光装置の断面構成図、図9(b)はA1組成比を示す図である。

図10は、従来装置のバンドギャップエネルギーの大きさを示す説明図であり、

図10 (a) は層構造を示す図、図10 (b) は図10 (a) の層構造におけるバンドギャップエネルギーの大きさを示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面に基づき本発明の実施形態について説明する。

図1には、本実施形態に係るGaN系化合物半導体装置を用いた発光装置の断面構成図が示されている。

発光装置は、サファイア基板110上に順次、低温(LT) SiNバッファ層112、低温(LT) GaNバッファ層114、アンドープGaNバッファ層116、高温SiNバッファ層118、アンドープGaNバッファ層120を形成して下地層とし、この下地層の上に、n型コンタクト層122、n型超格子クラッド層124、n型第1障壁層126を含む活性層129、p型ブロック層132、p型超格子クラッド層134、p型コンタクト層136を積層する構成である。この構成では、特に光ガイド層は設定していないが、光ガイド層を挿入する場合は、n型超格子クラッド層124とn型第1障壁層126の間にn側光ガイド層を、p型ブロック層132とp型超格子クラッド層134の間にp側光ガイド層を挿入すればよい。

活性層129は、n型第1障壁層126の他、n型井戸層128とn型第2障壁層130を交互に積層した多重量子井戸(MQW)構造を含む。n型第1障壁層126及びp型ブロック層132は、それぞれキャリア閉じ込め層として機能する。すなわち、n型第1障壁層126はp型層からのホールを閉じ込める機能を有し、p型ブロック層132はn型層からの電子を閉じ込める機能を有する。

各層の材料及び厚さは、以下の通りである。

n型コンタクト層122 : SiドープGaN (2 μ m)

n型超格子クラッド層124 : Al_{0.2}Ga_{0.8}N障壁層 (2 nm) / GaN井戸層 (2 nm) を50層

n型第1障壁層126 : Al_{0.13}Ga_{0.87}N (26 nm)

活性層129 : In_{0.05}Ga_{0.95}N井戸層128 (2 nm) / Al_{0.19}Ga_{0.81}N第2障壁層130 (13 nm) を3層

p型ブロック層132: Mgドープ $\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{N}$ (25 nm)

p型超格子クラッド層134: Mgドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 障壁層 (2 nm)
/Mgドープ GaN 井戸層 (2 nm) を30層

p型コンタクト層136: Mgドープ GaN (20 nm)

なお、図1には示されていないが、n型コンタクト層122にn電極、p型コンタクト層136にp電極を形成することで発光装置として機能する。低温 SiN バッファ層112、高温 SiN バッファ層118は必須ではなく、形成しなくてもよい。

図1に示される発光装置は、以下のようなプロセスで製造される。すなわち、

(1) MOCVD装置内のサセプタにサファイアC面基板110を載置し、1150℃で水素雰囲気中において10分間基板110を熱処理する。

(2) 次に、500℃まで降温してアンモニアガスとシランガスを原料ガスとして装置内に供給し、低温 SiN バッファ層112を成長させる。

(3) 次に、トリメチルガリウム (TMG) とアンモニアガスを原料ガスとして装置内に供給し、低温 GaN バッファ層114を成長させる。

(4) 次に、1075℃まで昇温してトリメチルガリウム (TMG) 及びアンモニアガスを原料ガスとして装置内に供給し、アンドープn型 GaN バッファ層116を成長させる。

(5) 次に、1075℃に維持したまま、アンモニアガスとシランガスを原料ガスとして供給し、高温 SiN バッファ層118を薄く成長させる。

(6) 次に、1075℃に維持したままトリメチルガリウム (TMG) 及びアンモニアガスを原料ガスとして供給し、アンドープn型 GaN 層120を成長させる。以上の処理で下地層としてのバッファ層が形成される。

(7) 次に、1075℃でシリコン含有ガスを供給し、 Si ドープn型 GaN コンタクト層122を成長させる。

(8) 次に、トリメチルアルミニウム (TMA)、トリメチルガリウム、アンモニアガス、シランガスを原料ガスとして供給し、n型 $\text{Al}\text{Ga}\text{N}$ 障壁層とn型 GaN 井戸層とを交互に合計50層成長させてn型超格子クラッド層124を成長させる。

(9) 次に、850℃まで降温してTMG、TMA及びアンモニアガスを原料ガスとして供給し、n型AlGaIn第1障壁層126を成長させる。

(10) 次に、850℃でn型InGaIn井戸層128とn型AlGaIn第2障壁層130とを交互に合計3層成長させて活性層129を成長させる。

(11) 次に、1025℃まで昇温してMgドープp型AlGaInブロック層132を成長させる。

(12) 次に、同じ1025℃でMgドープp型AlGaIn障壁層とMgドープp型GaIn井戸層を交互に合計30層成長させてp型超格子クラッド層134を成長させる。

(13) 最後に、1025℃でMgドープp型GaInコンタクト層136を成長させる。

以上のようにして積層構造を形成した後、MOCVD装置からウエハーを取り出し、電極を形成する。具体的には、Ni(10nm)、Au(10nm)をウエハー表面に順次真空蒸着し、5%の酸素を含む酸素雰囲気中において520℃で熱処理してp型透明電極を形成する。次に、全面にフォトリソを塗布し、エッチングマスクとして用いてn型コンタクト層122の一部が表面に露出するまでエッチングする。そして、露出したn型コンタクト層122上にn電極を形成する。具体的には、Ti(5nm)、Al(5nm)を順次真空蒸着し、窒素ガス中において450℃で30分間熱処理してn電極を形成する。p型透明電極及びn型電極の一部にワイヤボンディング用の金パッドを形成し、基板裏面を研磨してスクライブによりLEDチップを切り出し、マウントしてLEDが得られる。

上記した各層の材料及び厚さは一例であり、具体的には以下のような条件でLEDを作製することができる。

表 1

層名	組成	膜厚	キャリア濃度(cm^{-3})	成長温度
p型コンタクト層	$\text{Al} \leq 0.1, \text{In} \leq 0.1$	$\leq 35\text{nm}$	$\sim 1\text{E}18$	
p型クエット層 SL障壁層 SL井戸層	$\text{Al} \leq 0.2, \text{In} \leq 0.1$ $\text{Al} \leq 0.05, \text{In} \leq 0.1$	$\leq 2\text{nm}$ $\leq 2\text{nm}$ $\leq 60\text{層}$	$\sim 5\text{E}17$	975-1025°C
p型ブロック層	$\text{Al} \leq 0.5, \text{In} \leq 0.1$	$\leq 50\text{nm}$		
活性層 <5MQ	アンド-プn型第2障壁層 アンド-プn型第2井戸層	$\leq 20\text{nm}$ $\leq 4\text{nm}$ $\leq 5\text{層}$		800-900°C
	アンド-プn型第1障壁層 n型クエット層 SL障壁層 SL井戸層	$\leq 50\text{nm}$ $\leq 2\text{nm}$ $\leq 2\text{nm}$ $\leq 60\text{層}$	$< 1\text{E}17 \sim 1\text{E}19$ $< 1\text{E}18 \sim 1\text{E}19$	1050-1100°C
高温ハット	n型コンタクト層 アンド-プn型第2高温ハット層 高温SiNハット層(あってもなくてもよい) アンド-プn型第1高温ハット層	$\leq 3\mu\text{m}$ $\leq 2\mu\text{m}$ $\leq 200\text{s}$ $\leq 2\mu\text{m}$	$\sim 5\text{E}18$ $< 1\text{E}17$ $< 1\text{E}17$	
低温ハット	低温GaN系ハット層 低温SiNハット層(あってもなくてもよい)	$\leq 50\text{nm}$ $\leq 200\text{s}$		450-750°C
サファイア基板				

n型第1障壁層126は、 $AlGaIn$ ではなく $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ で構成することもでき、組成比 x 及び y の範囲は $0 \leq x \leq 0.3$ 、 $0 \leq y \leq 0.05$ である。表では、これらの条件を $Al \leq 0.3$ 、 $In \leq 0.05$ として示されている。

また、活性層129のn型井戸層128及びn型第2障壁層130は、それぞれ $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ で構成することもでき、それぞれ井戸層128は $0 \leq x \leq 0.01$ 、 $0 \leq y \leq 0.1$ 、n型第2障壁層130は $0 \leq x \leq 0.3$ 、 $0 \leq y \leq 0.05$ である。表では、これらをn型井戸層128は $Al \leq 0.01$ 、 $In \leq 0.1$ 、n型第2障壁層130は $Al \leq 0.3$ 、 $In \leq 0.05$ として示されている。n型第1障壁層126、n型井戸層128、n型第2障壁層130、p型ブロック層132、超格子クラッド層124及び134の材料についてまとめると以下ようになる。

n型第1障壁層126及びn型第2障壁層130： $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$
(但し、 $0 \leq x \leq 0.3$ 、 $0 \leq y \leq 0.05$)

n型井戸層128： $Al_aIn_bGa_{1-a-b}N$ (但し、 $0 \leq a \leq 0.01$ 、 $0 \leq b \leq 0.1$)

p型キャリアブロック層： $Al_pIn_qGa_{1-p-q}N$ (但し、 $0 \leq p \leq 0.5$ 、 $0 \leq q \leq 0.1$)

超格子クラッド層(障壁層)： $Al_\alpha In_\gamma Ga_{1-\alpha-\gamma}N$ (但し、 $0 \leq \alpha \leq 0.2$ 、 $0 \leq \gamma \leq 0.1$)

超格子クラッド層(井戸層)： $Al_\beta In_\eta Ga_{1-\beta-\eta}N$ (但し、 $0 \leq \beta \leq 0.05$ 、 $0 \leq \eta \leq 0.1$)

図1に示される構成が図9及び図10に示される従来装置と異なる点は、n型超格子クラッド層124、p型超格子クラッド層134、p型ブロック層132、n型第2障壁層130、及びn型第1障壁層126の組成比を制御することでこれらのバンドギャップエネルギーが所定の関係を満たすように設定した点にある。具体的には、p型ブロック層132のバンドギャップエネルギーを E_{gb} 、活性層129におけるn型第2障壁層130のバンドギャップエネルギーを E_{g2} 、n型第1障壁層126のバンドギャップエネルギーを E_{g1} 、n型クラッド層124及

びp型クラッド層134のバンドギャップエネルギーを E_{gc} とした場合に、 $E_{gb} > E_{g2} > E_{g1} \geq E_{gc}$ を満たすことにある。

図2には、各層のバンドギャップエネルギーの大小関係が示されている。n型クラッド層124及びp型クラッド層134は超格子構造であり、これらの実効バンドギャップエネルギーを E_{gc} とすると、p型ブロック層132のバンドギャップ E_{gb} はキャリアである電子を閉じ込めるため E_{gc} 、 E_{g2} より大きくなる。すなわち、 $E_{gb} > E_{g2}$ である。なお、 E_{g1} と E_{g2} の大小関係については、上記した特許文献に示されるように活性層・障壁層との間にバンドオフセットを設ける必要はなく、 $E_{g2} = E_{g1}$ とすることも可能であるが、後述するように、本願出願人は種々の実験の結果、 $E_{g1} < E_{g2}$ とすることにより発光強度がより増大することを見出している。

図3には、n型第2障壁層130のバンドギャップエネルギー E_{g2} を1とし、n型第1障壁層126のバンドギャップエネルギー E_{g1} を変化させたときの発光強度の変化が示されている。発光強度は、作製したLEDデバイスを積分球の中にいれ、電流を注入してデバイスから射出した全光出力を測定し比較している。発光波長は370nm付近である。図において、横軸は E_{g1}/E_{g2} であり、縦軸はエレクトロルミネッセンス強度（相対強度）である。n型第1障壁層126のバンドギャップエネルギー E_{g1} を変化させるには、トリメチルアルミニウム（TMA）の供給量を変えて $Al_xGa_{1-x}N$ のAl組成比 x を変化させることで実現させている。TMAの供給量を増大させてAl組成比 x を増大させるほど、バンドギャップエネルギーは増大する。 E_{g1} 以外のバンドギャップエネルギー、例えば E_{gc} や E_{gb} は一定値としている。図からわかるように、 E_{g1} と E_{g2} が等しい（ $E_{g1}/E_{g2} = 1$ ）場合の発光強度が0.08であるのに対し、 E_{g1} の方が E_{g2} よりも小さい $E_{g1}/E_{g2} = 0.96$ の場合には発光強度は0.18近傍まで増大する。このことから、 $E_{g2} > E_{g1}$ とすることで発光強度が増大することがわかる。

なお、図3において E_{g1} をより小さくし、 $E_{g1}/E_{g2} = 0.92$ となった場合に発光強度が0.07と逆に小さくなっているのは、 E_{g1} がn型超格子クラッド層124の実効バンドギャップ E_{gc} より小さくなってホール閉じ込め

効果が減じたためである。図4には、n型クラッド層126及びp型クラッド層134の実効バンドギャップ E_{gc} を1とし、n型第1障壁層126のバンドギャップ E_{g1} を変化させたときの発光強度の変化が示されている。n型第1障壁層126のバンドギャップエネルギーは、図3の場合と同様に第1障壁層を構成する $Al_xGa_{1-x}N$ におけるAl組成比 x を変化させることで変化させている。図からわかるように、 E_{g1} と E_{gc} とが等しく、 $E_{g1}/E_{gc}=1$ の場合の発光強度0.16に対し、 $E_{g1}/E_{gc}=1.3$ のときに発光強度0.18まで増大し、 $E_{g1}/E_{gc}=0.6$ のときに発光強度0.07と逆に低下しており、発光強度増大のためには $E_{g1} \geq E_{gc}$ が必要であることがわかる。

なお、図において、 E_{g1} をより大きくし、 $E_{g1}/E_{gc}=1.9$ の場合に発光強度0.08と低下しているのは、 E_{g1} を大きく設定しすぎると $E_{g1} > E_{g2}$ となってしまうためである。

図5には、n型第2障壁層130のバンドギャップエネルギー E_{g2} を1とし、p型ブロック層132のバンドギャップエネルギー E_{gb} を変化させたときの発光強度の変化が示されている。p型ブロック層132のバンドギャップエネルギー E_{gb} が増大するほど発光強度は単調増加する。これは、 E_{gb} が増大するほど電子閉じ込め効果が大きくなるためである。

以上の結果より、図2に示されるように、 $E_{gb} > E_{g2} > E_{g1} \geq E_{gc}$ とすることで、従来装置よりも発光強度を増大できることがわかる。

一方、n型第1障壁層126の厚さについては、上記の特許文献においても他の障壁層に比べて厚く形成することが記載されている。しかしながら、n型第1障壁層126をアンドープ $AlGaInN$ あるいはアンドープ $AlInGaInN$ で構成する場合、この層が抵抗層として機能するためあまりに厚く形成すると逆に発光強度が低下することになる。

図6には、n型第2障壁層130の厚さを13nmに固定し、n型第1障壁層126の厚さを変化させたときの発光強度の変化が示されている。n型第1障壁層126の厚さが増大するほど発光強度は増大し、厚さが25nm近傍で発光強度0.18が得られる。しかしながら、それ以上に厚く形成すると、発光強度は逆に低下していく。したがって、n型第1障壁層126の厚さを d_1 、n型第2

障壁層 130 の厚さを d_2 とした場合に、 $d_1 > d_2$ であることが必要であり、但し、 d_1 の上限は 50 nm 程度以下に抑えることが必要である。

本実施形態では、n 型第 1 障壁層 126 の上に n 型井戸層 128 及び n 型第 2 障壁層 130 を積層しており、n 型第 1 障壁層 126 と n 型第 2 障壁層 130 との間にも n 型井戸層 128 が形成されている。この井戸層の存在も発光強度向上の観点から好適なものである。図 7 には、n 型第 1 障壁層 126 と n 型第 2 障壁層 130 との間に井戸層を形成する場合と形成しない場合の発光強度の変化が示されている。井戸層を形成しない場合の発光強度 0.16 に対し、井戸層を形成した場合には発光強度が 0.2 まで増大している。

さらに、本実施形態では、活性層 129 を n 型第 1 障壁層 126、n 型井戸層 128、n 型第 2 障壁層 130 の MQW から構成しているが、n 型井戸層 128 の厚さもできるだけ薄く形成して量子効果を顕著に顕在化させることが好適である。図 8 には、n 型第 2 障壁層 130 の厚さを一定とし、n 型井戸層 128 の厚さを変化させたときの発光強度の変化が示されている。n 型井戸層 128 は薄いほど発光強度は増大する。したがって、井戸層 128 は 5 nm 以下、より好適には 4 nm 以下とするのがよい。

請 求 の 範 囲

1. 基板と、

前記基板上に形成された第1導電型のクラッド層と、

前記クラッド層上に形成された活性層と、

前記活性層上に形成された第2導電型のクラッド層と、

を有し、前記活性層は、窒化ガリウム系化合物半導体層からなる障壁層及び井戸層を有する窒化ガリウム系発光装置であって、

前記活性層の前記障壁層は、前記第1導電型のクラッド層側に形成された第1障壁層、及び前記井戸層に挟まれた第2障壁層を有し、

前記活性層と前記第2導電型のクラッド層との間に第2導電型のキャリアブロック層を有し、

前記キャリアブロック層のバンドギャップ $E_g b$ 、第2障壁層のバンドギャップ $E_g 2$ 、第1障壁層のバンドギャップ $E_g 1$ 、クラッド層のバンドギャップ $E_g c$ は、 $E_g b > E_g 2 > E_g 1 \geq E_g c$ を満たすことを特徴とする窒化ガリウム系発光装置。

2. 請求項1記載の装置において、

前記第1障壁層の厚さ d_1 及び前記第2障壁層の厚さ d_2 は、 $d_1 > d_2$ を満たすことを特徴とする窒化ガリウム系発光装置。

3. 請求項2記載の装置において、

前記第1障壁層の厚さ d_1 は、 $d_1 \leq 50 \text{ nm}$ を満たすことを特徴とする窒化ガリウム系発光装置。

4. 請求項1、2のいずれかに記載の装置において、

前記井戸層の厚さ d_3 は、 $d_3 \leq 4 \text{ nm}$ を満たすことを特徴とする窒化ガリウム系発光装置。

5. 請求項1～4のいずれかに記載の装置において、

前記第1障壁層及び前記第2障壁層は、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 0.3$ 、 $0 \leq y \leq 0.05$) から構成され、前記井戸層は $\text{Al}_a\text{In}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 \leq a \leq 0.01$ 、 $0 \leq b \leq 0.1$) から構成されることを特徴とする窒化ガリウム系発光装置。

6. 請求項1～5のいずれかに記載の装置において、

前記キャリアブロック層は、 $\text{Al}_p\text{In}_q\text{Ga}_{1-p-q}\text{N}$ ($0 \leq p \leq 0.5$ 、 $0 \leq q \leq 0.1$) から構成されることを特徴とする窒化ガリウム系発光装置。

7. 請求項1～6のいずれかに記載の装置において、

前記クラッド層は、 $\text{Al}_\alpha\text{In}_\gamma\text{Ga}_{1-\alpha-\gamma}\text{N}$ ($0 \leq \alpha \leq 0.2$ 、 $0 \leq \gamma \leq 0.1$) と $\text{Al}_\beta\text{In}_\eta\text{Ga}_{1-\beta-\eta}\text{N}$ ($0 \leq \beta \leq 0.05$ 、 $0 \leq \eta \leq 0.1$) とを積層した超格子構造から構成されることを特徴とする窒化ガリウム系発光装置。

図 1

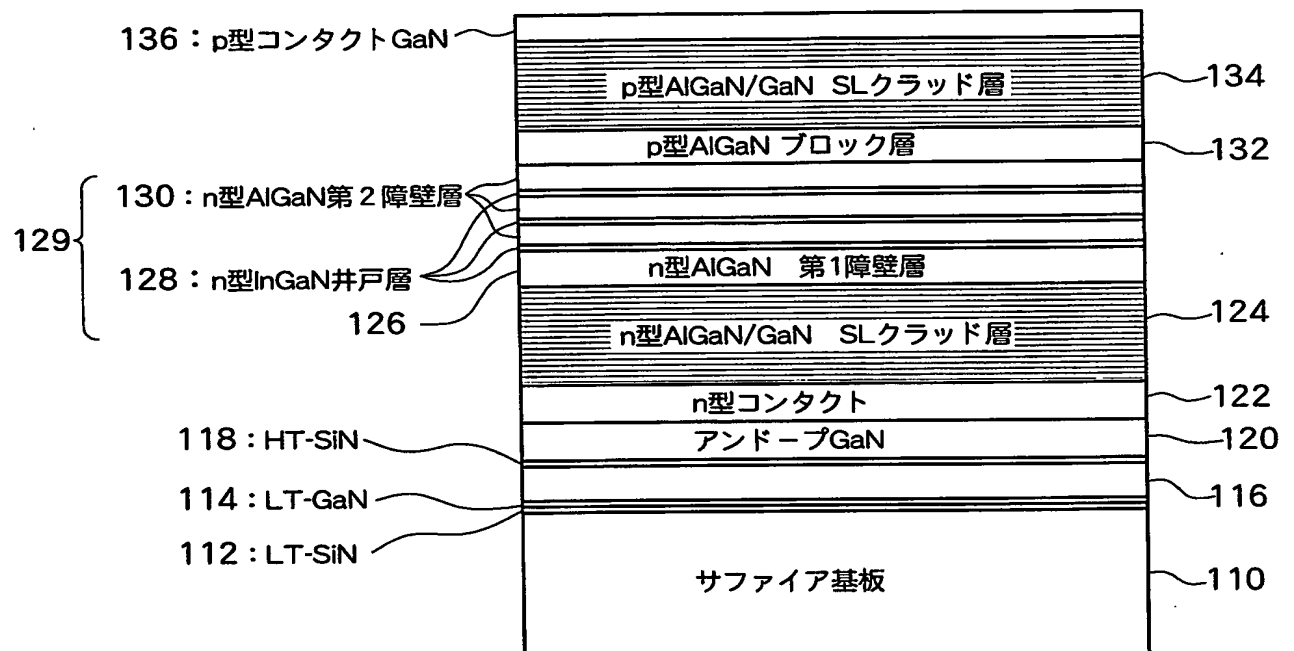


図 2

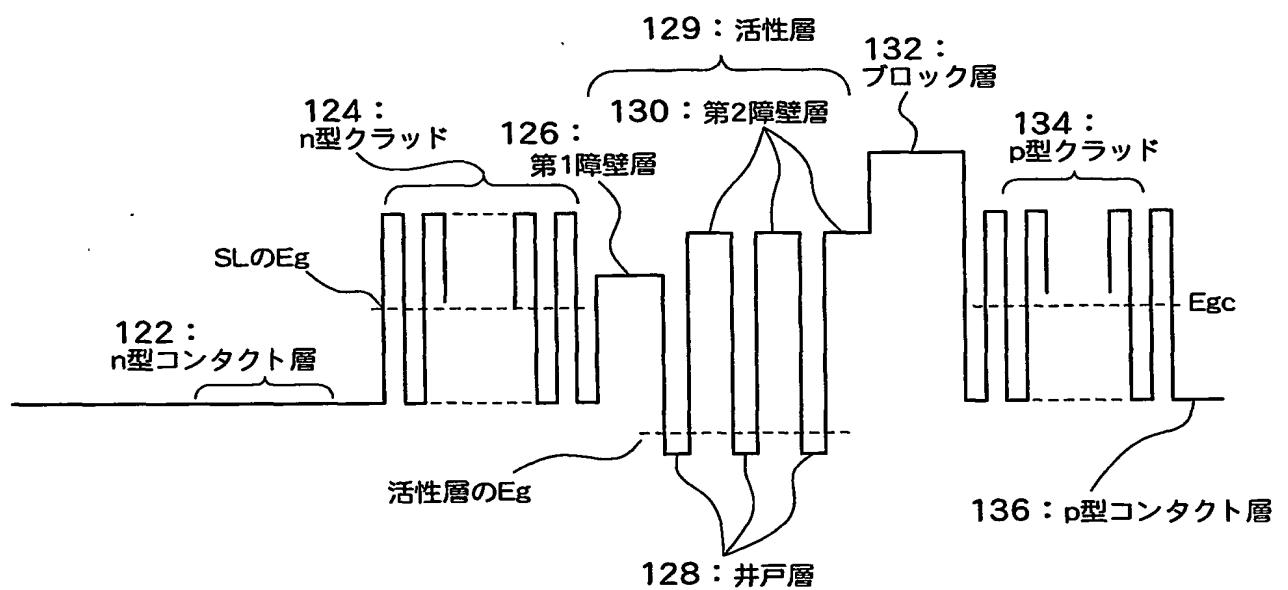


図3

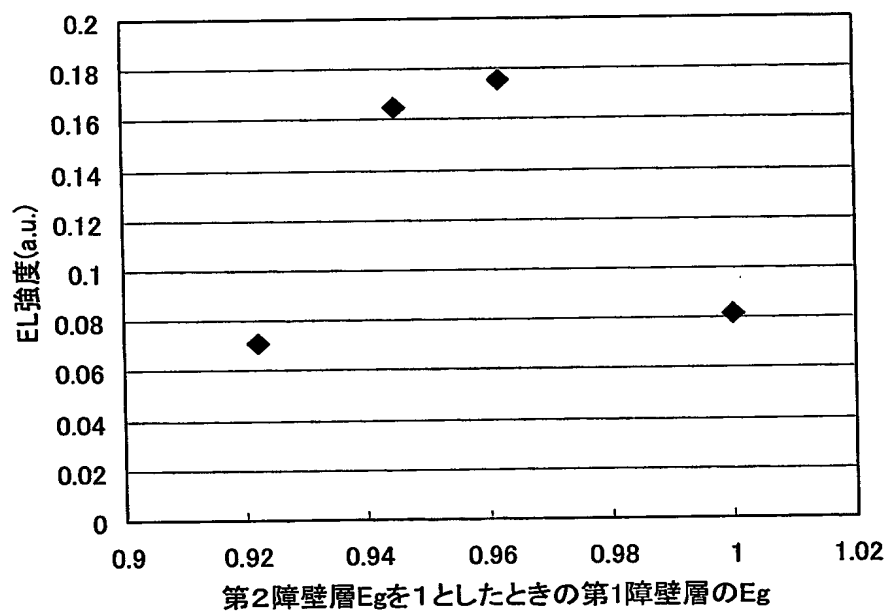


図4

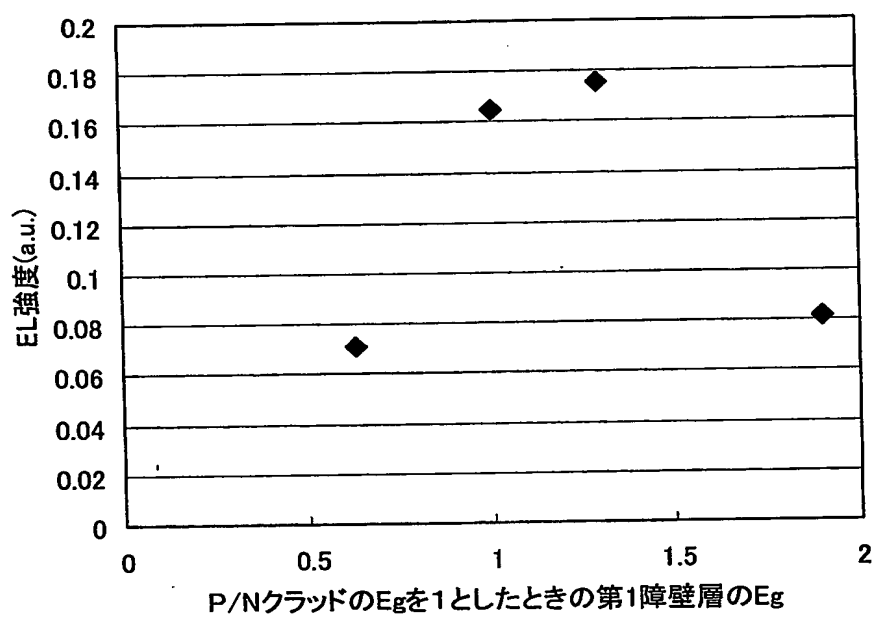


図5

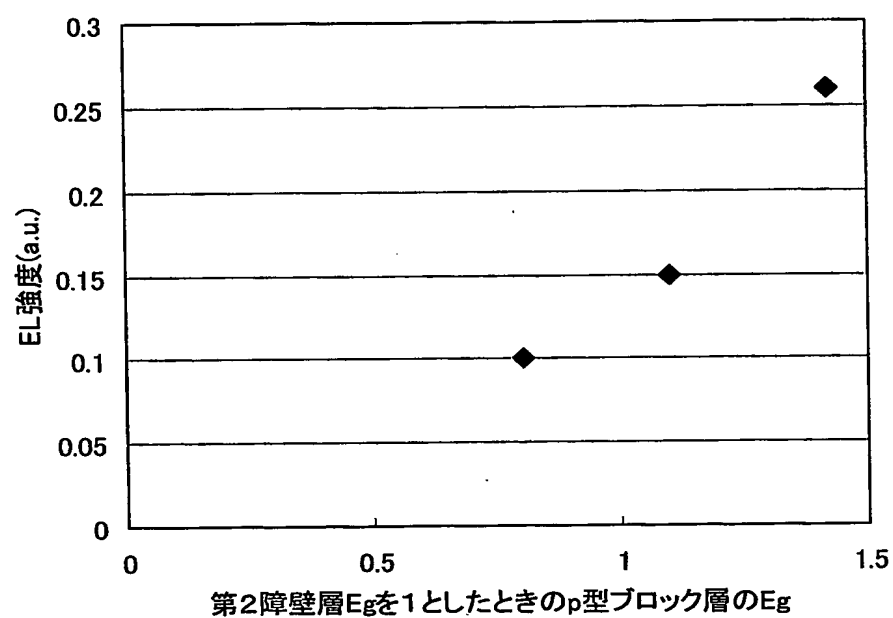


図6

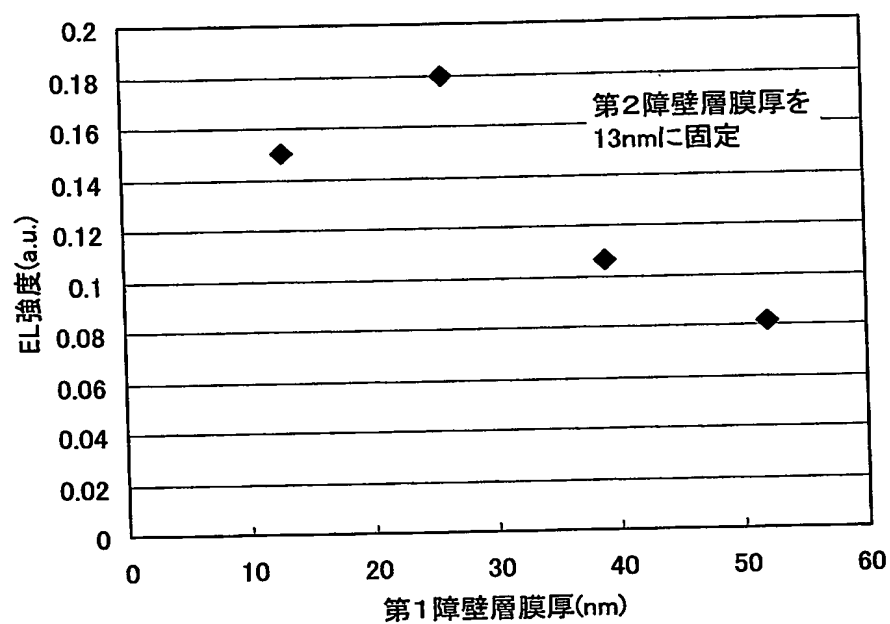


図 7

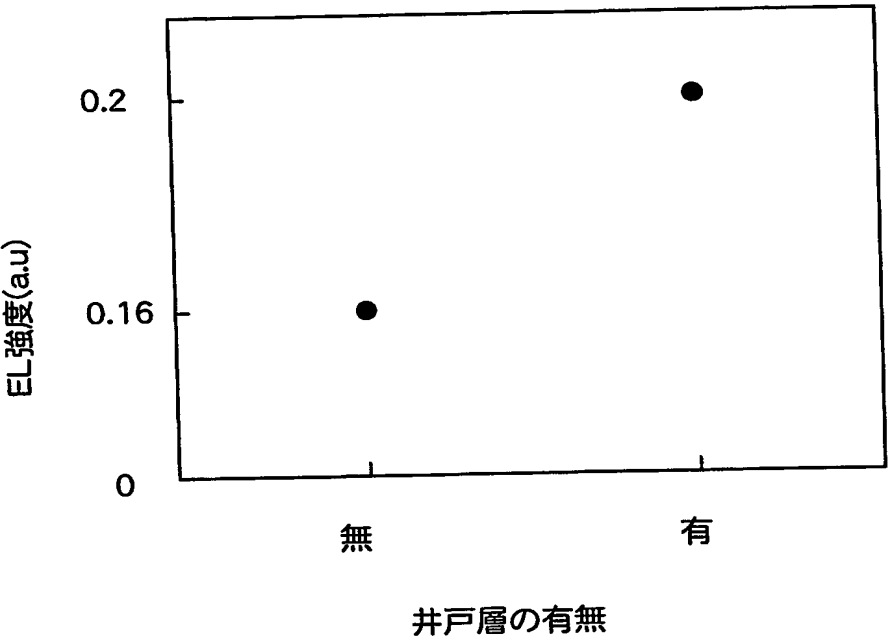


図8

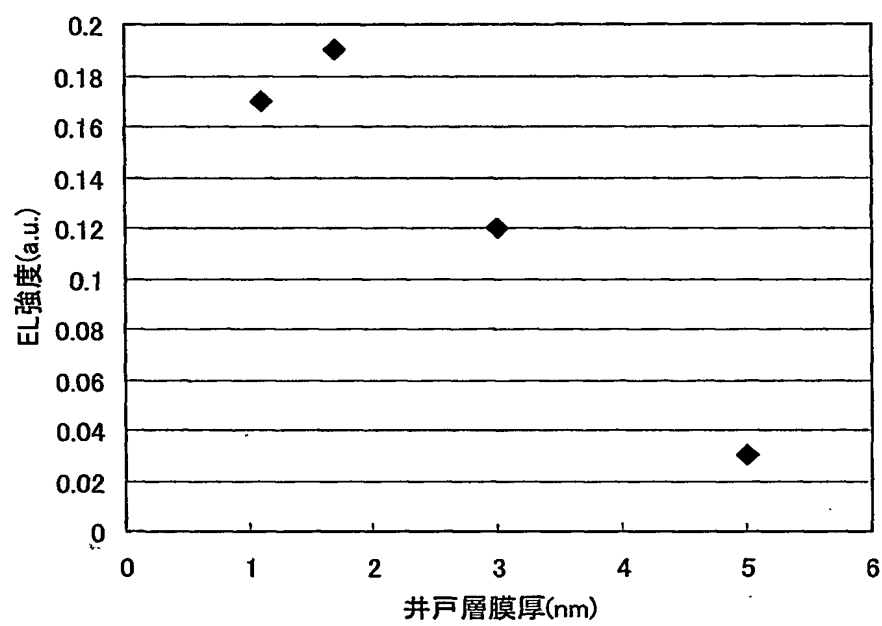


図 9

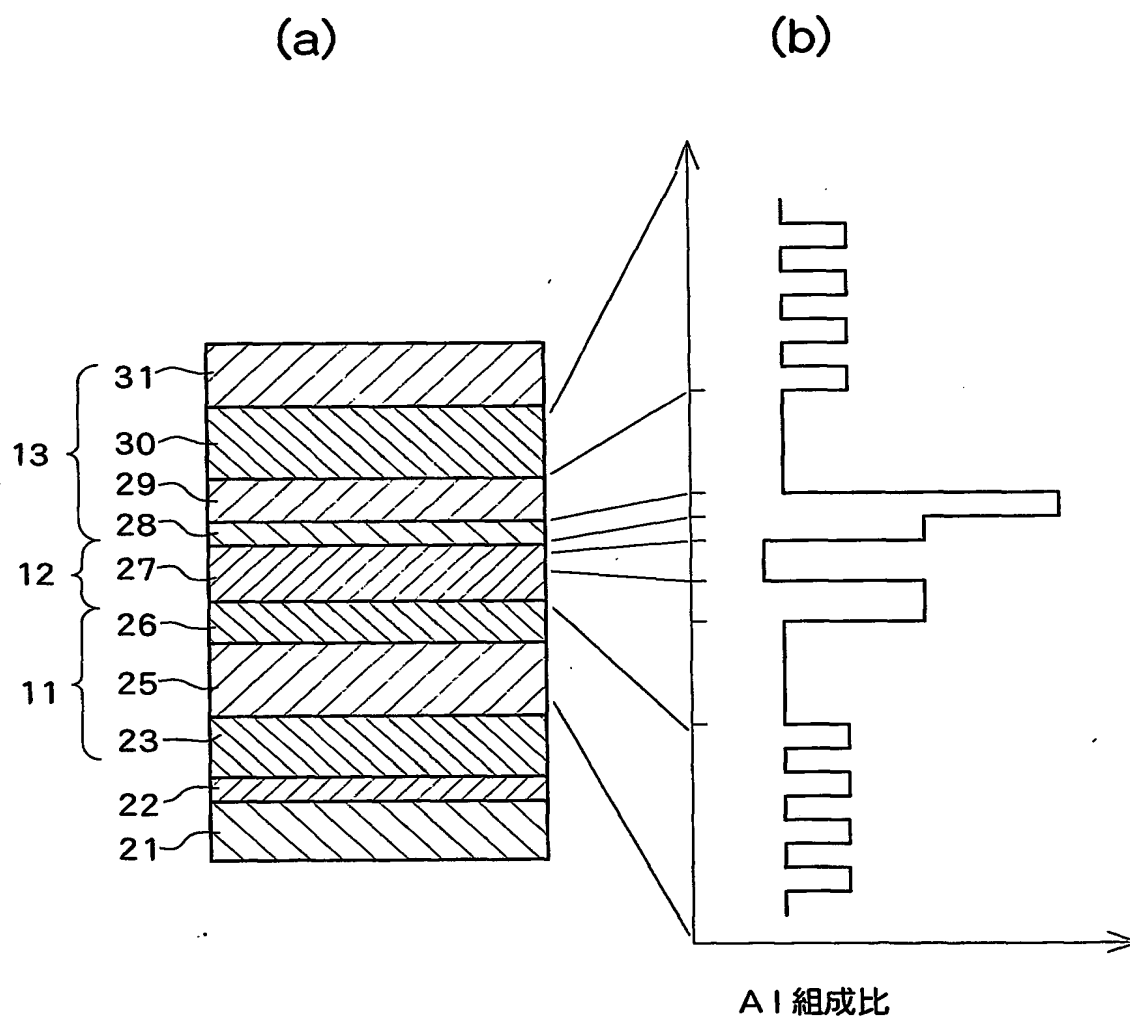
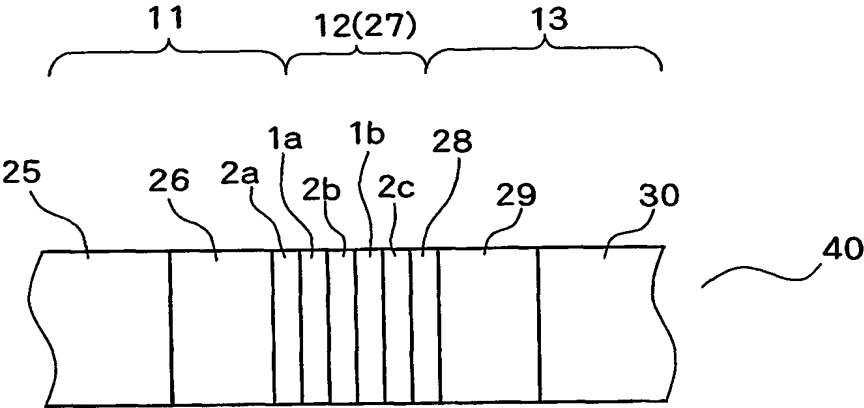
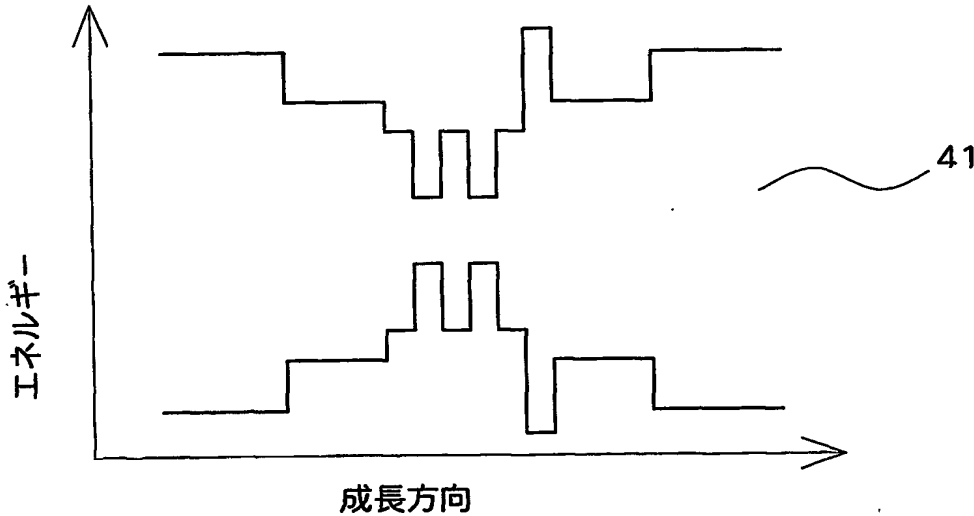


図 10

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005475

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L33/00, H01S5/343

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L33/00, H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-273473 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 26 September 2003 (26.09.03), Full text; all drawings & WO 03/41234 A1	1-7
A	JP 2004-87908 A (Sharp Corp.), 18 March, 2004 (18.03.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2000-196194 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 14 July, 2000 (14.07.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 August, 2004 (02.08.04)Date of mailing of the international search report
17 August, 2004 (17.08.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005475

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-126006 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 15 May, 1998 (15.05.98), Full text; all drawings & EP 772249 A2 & CN 1156909 A & US 5959307 A & KR 267839 B & JP 2002-84043 A & US 2003/15724 A1	1-7
A	JP 2003-115642 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 18 April, 2003 (18.04.03), Full text; all drawings & TW 536859 B & WO 02/80320 A1	1-7
A	JP 2000-232239 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 22 August, 2000 (22.08.00), Full text; all drawings (Family: none)	7
A	JP 2002-314204 A (Ricoh Co., Ltd.), 25 October, 2002 (25.10.02), Full text; all drawings (Family: none)	7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L33/00, H01S5/343

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L33/00, H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-273473 A (日亜化学工業株式会社) & WO 03/41234 A1 全文全図 2003. 09. 26	1-7
A	JP 2004-87908 A (シャープ株式会社) (ファミリーなし) 全文全図 2004. 03. 18	1-7
A	JP 2000-196194 A (三洋電機株式会社) (ファミリーなし) 全文全図 2000. 07. 14	1-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 08. 04

国際調査報告の発送日

17. 8. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

近藤 幸浩

2 K

8 4 2 2

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 10-126006 A (日亜化学工業株式会社) 1998.05.15 & EP 772249 A2 & CN 1156909 A 全文全図 & US 5959307 A & KR 267839 B & JP 2002-84043 A & US 2003/15724 A1	1-7
A	JP 2003-115642 A(日亜化学工業株式会社) 2003.04.18 & TW 536859 B & WO 02/80320 A1 全文全図	1-7
A	JP 2000-232239 A(日亜化学工業株式会社) 2000.08.22 (ファミリーなし) 全文全図	7
A	JP 2002-314204 A(株式会社リコー) 2002.10.25 (ファミリーなし) 全文全図	7